

Approved For Release STAT
2009/08/31 :
CIA-RDP88-00904R000100130

Dec

Approved For Release
2009/08/31 :
CIA-RDP88-00904R000100130



Вторая Международная конференция
Организации Объединенных Наций
по применению атомной энергии
в мирных целях

A/CONF/15/P.2245
USSR
ORIGINAL:RUSSIAN

Не подлежит оглашению до официального сообщения на Конференции

ГАММА-ЭМАНАЦИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ АНОМАЛИЙ
РАДИОАКТИВНОСТИ

Ю.П.Булашевич

§ I. Исходные положения

Горные породы в условиях естественного залегания эманруют, т.е. выделяют в поровое пространство радиоактивные эманации. Это свойство пород феноменологически характеризуется коэффициентом эманирования, который равен отношению скорости выделения эманации в поры некоторого объема породы к скорости ее генерации за счет радиоактивного распада в зернах породы. При отсутствии конвективного или диффузионного переноса эманации коэффициент эманирования может быть определен выражением

$$\alpha = \frac{q_v}{Q}, \quad (1,1)$$

где q_v - количество эманации в порах произвольного объема породы,
 Q - полное количество эманации в зернах и порах в том же объеме

При этом определении значение коэффициента эманирования зависит также от сорбции эманации зернами, которая уменьшает концентрацию эманации в поровом воздухе.

Коэффициент эманирования изменяется в широких пределах в зависимости от формы нахождения радиоактивных элементов и рыхлости минеральных образований. Известны многочисленные случаи интенсивных радоновых аномалий, обусловленных повышенным эманированием при кларковом содержании радия. Это относится, например, к некоторым

25 YEAR RE-REVIEW

-2-

графитизированным породам и может быть использовано при геологическом картировании (I,2). В приповерхностных участках урановых рудопоявлений коэффициент эманирования горной массы обычно больше, чем у рудных минералов. Это указывает на нахождение части радиоактивных образований в дисперсном состоянии. Высокие коэффициенты эманирования обычно характерны и для вторичных солевых ореолов рассеяния урановых месторождений.

При достаточно большой пористости эманлирующие рудные тела могут создавать газовые, радоновые ореолы, для которых формально коэффициент эманирования близок к 100%. Таким образом, имеются предпосылки для классификации эманационных аномалий по параметру эманирования, который, кроме того, дает дополнительную информацию о формах нахождения радиоэлементов и их геохимической подвижности.

Коэффициент эманирования в условиях естественного залегания пород может быть определен путем комплексирования наземных эманационных и гамма-съемок, проводимых по совпадающим точкам наблюдений. Электрометрическое определение степени ионизации почвенного воздуха эталонированным прибором непосредственно дает поровую концентрацию эманации. По интенсивности гамма-поля можно найти полное количество эманации в зернах и порах, т.е. вторую величину из входящих в выражение (I,1). Для ряда урана практически все гамма-излучение создается короткоживущими продуктами распада радона. Поэтому получаемое значение коэффициента эманирования не зависит от степени нарушения векового радиоактивного равновесия между ураном и радием. В семействе тория значительная доля гамма-интенсивности создается M_3Th_2 . Однако по причине малости периодов полураспада элементы семейства в природных условиях обычно находятся в равновесных соотношениях, что позволяет найти полное количество торона по гамма-интенсивности.

Указанная методика предполагает стационарное распределение активности. Для определения коэффициента эманирования при нестационарном распределении, которое возникает при быстрой проходке скважин шнеком или при отпалке породы в горной выработке, могут быть предложены другие методы.

-3-

§ 2. Определение поровой концентрации

Введение почвенного воздуха в ионизационную камеру прибора должно происходить со скоростью, исключающей заметный распад эманации в подводящей системе. Необходимую скорость можно ориентировочно оценить по следующей приближенной формуле, которая соответствует непрерывной транспортировке воздуха через камеру.

$$C = C_0 \frac{\omega}{\lambda V} \left[e^{-\frac{\lambda}{\omega} V_1} - e^{-\frac{\lambda}{\omega} (V + V_1)} \right] \quad (2,1)$$

где C — средняя концентрация эманации в камере, C_0 — концентрация свободной эманации в почвенном воздухе, ω — объемная скорость воздушной струи, λ — постоянная распада эманации, V_1 — объем подводящей системы, V — объем ионизационной камеры.

При $\frac{\lambda}{\omega} (V + V_1) \ll 1$ формула (2,1) дает $C = C_0$. Следовательно, объемную скорость струи надо выбирать из условия

$$\omega \gg \omega_0 = \lambda (V + V_1) \quad (2,2)$$

На рисунке представлена зависимость средней концентрации эманации в камере от объемной скорости воздуха при различных соотношениях между объемами подводящей системы и камеры. Как видно из графика при $\frac{\omega}{\omega_0} \geq 10$ $\frac{C}{C_0} > 0,95$

Вблизи дневной поверхности концентрация радона может быть занижена за счет диффузии в атмосферу. При однородном распределении радия концентрация радона увеличивается с глубиной z по закону

$$C = C_0 \left(1 - e^{-\frac{z}{\ell}} \right), \quad (2,3)$$

где $\ell = \sqrt{\frac{D}{\lambda}}$ — диффузионная длина, а D — коэффициент диффузии. Для сухих рыхлых отложений $\ell = 0,5-1,0$ м. Во влажных глинистых отложениях диффузионная длина значительно меньше. Если отбор проб почвенного воздуха производится с глубин, равных диффузионной длине, то измеренная концентрация радона будет меньше равновесной

3493-154

-4-

примерно на одну треть. Для повышения точности оценки коэффициента эманирования точки отбора воздуха должны выбираться на глубинах $z > 0$. Для торона это условие отпадает, так как диффузионная длина торона равна примерно одному сантиметру.

Весьма часто наблюдается совместное нахождение радона и торона в поровом воздухе. В этом случае раздельное определение концентраций производится по двум разновременным измерениям ионизационного тока (3).

После мгновенного ввода пробы в камеру ток от торона и TnA быстро спадает, а ток от радона в связи с накоплением альфа-излучающих продуктов распада постепенно нарастает, достигая предельного значения примерно через 3 часа.

Если первое измерение производится сразу после ввода пробы в камеру, а второе через время t , то начальные ионизационные токи от радона и торона определяются выражениями:

$$i_{Rn} = \alpha i_t - \beta i_0 ; \quad (2,4)$$

$$i_{Tn} = i_0 - i_{Rn} , \quad (2,5)$$

где i_0 — суммарный ток в начальный момент, i_t — ток через время t после закрытия камеры.

Коэффициенты α и β зависят от объема и конструкции ионизационной камеры. С уменьшением объема понижается использование альфа-излучения и увеличивается относительный эффект от осадка на стенках. Поэтому целесообразно иметь экспериментальные кривые относительного изменения тока от радона и торона для данной камеры и по ним определять коэффициенты в (2,4) и (2,5).

Для эталонированного электрометра ток от радона равен поровой концентрации в эманах $i_{Rn} = C_{Rn}$. В свою очередь поровая концентрация может быть связана с равновесным содержанием урана соотношением:

$$C_{Rn} = 34 \cdot 10^3 \frac{\alpha_{Rn}}{\eta} \rho P_u , \quad (2,6)$$

где α_{Rn} — коэффициент эманирования по радону, η — пористость, ρ — объемный вес породы в $г/см^3$, P_u — процентное содержание урана.

-5-

Когда в точке отбора пробы воздуха равновесие между ураном и радием нарушено, то под P_u следует понимать не истинное, а эквивалентное по радию содержание урана.

Ионизационный ток от торона также выражается в эманах. Однако для установления связи этого тока с процентным содержанием тория в породе следует знать переходный коэффициент. Он равен отношению токов насыщения, создаваемых тороном и радоном, которые соответственно находятся в равновесии с однопроцентными содержаниями тория и урана

$$k = \frac{\lambda_{Th}}{\lambda_u} \frac{A_u}{A_{Th}} \frac{k_{Tn} + k_{ThA}}{k_{Rn}} \cong 0,8, \quad (2,7)$$

где A_u и A_{Th} - атомные веса урана и тория, k_{Tn} и g_p - числа пар ионов, создаваемых одной альфа-частицей при полном пробеге в воздухе.

Значение переходного коэффициента получено в предположении, что ионы ThA распределяются в объеме камеры и что использование альфа-излучения одинаково для радона, торона и ThA . Эти допущения достаточно удовлетворительны. Таким образом, для начального тока от торона и ThA можно написать

$$i_{Tn} = 27 \cdot 10^3 \frac{\alpha_{Tn}}{\eta} \rho P_{Th} \text{ эман} \quad (2,8)$$

в аналогичных обозначениях с (2,6).

Для нахождения истинной концентрации торона в поровом воздухе, определяемой сравнением со скоростью распада одного эмана радона, необходимо исключить фактор ионизации $\frac{1}{47}$. Тогда

$$C_{Tn} = \frac{k_{Rn}}{k_{Tn} + k_{ThA}} i_{Tn} \cong 0,42 i_{Tn} \text{ эман} \quad (2,9)$$

При применяемой технике эманационных измерений относительный эффект от актинона пренебрежимо мал.

В формулы (2,6) и (2,8) входит отношение коэффициента эанирования к пористости. Эту величину целесообразно называть относительным коэффициентом эанирования.

-6-

§3. Определение интенсивности гамма-поля

Измерения гамма-интенсивности должны производиться в шпурах на глубине отбора проб воздуха при эманационной съемке. В общем случае измеряемая интенсивность обусловлена излучением равновесных рядов урана, тория и калием. Кроме того, имеется еще некоторый остаточный фон \mathcal{I}_0 , зависящий от космического излучения, радиоактивной загрязненности атмосферы и счетчика. Таким образом,

$$\mathcal{I} = A R_u + B P_{Th} + C R_K + \mathcal{I}_0, \quad (3,1)$$

где A , B и C - пересчетные коэффициенты, выражающие интенсивность излучения в мкр/час, которая приходится в безграничной среде на 1% излучающего элемента.

Значения пересчетных коэффициентов зависят от спектрального состава первичного гамма-излучения, от спектральной чувствительности аппаратуры и через средний атомный номер от состава среды. Для серийных разрядных счетчиков известны многочисленные экспериментальные определения коэффициента A /5/. Имеются также экспериментальные оценки коэффициента B . Кроме того, для счетчиков с легким и тяжелым катодом значения всех трех коэффициентов были рассчитаны теоретически [6,7]. По совокупности всех данных мы остановимся на значениях, приведенных в табл. I. Они относятся к случаю измерения в породе (шпуры, скважины и т.д.) стандартными счетчиками с медным - MC и вольфрамовым - BC катодом, находящимися в легкой алюминиевой гильзе с толщиной стенок 1,0-1,5 мм. Практически эти значения сохраняются для всех изверженных, метаморфических и осадочных пород, флуктуируя в пределах примерно 5% в зависимости от состава. Исключения составляют рудные месторождения с большой концентрацией тяжелых элементов и малозольные угли. В первом случае за счет поглощения в среде мягкой части спектра коэффициенты уменьшаются, а во втором увеличиваются в связи со слабым фотоэлектрическим поглощением и развитием рассеянного излучения. Для сцинтилляционных счетчиков пересчетные коэффициенты зависят также от уровня дискриминации.

-7-

Таблица I

Элемент	Значение пересчетного коэффициента, в мкр/час на I%	
	МС	ВС
U	$1,5 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$
Th	$6,5 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^4$
K	5,2	4,2

§ 4. Определение относительного коэффициента эманирования и классификация эманацион- ных аномалий

Соотношения (2,6), (2,8) и (3,1) позволяют делать различные количественные оценки источников эманационных и гамма-полей. Степень достоверности этих оценок, их выбор и подход к решению зависят от конкретных геолого-геофизических условий. Остановимся на определении коэффициента эманирования пород в естественном залегании. Наиболее прост тот случай, когда в правой части уравнения (3,1) может быть оставлен только один член, соответствующий урану или торию. Это возможно при резком преобладании одного из этих элементов или при исключении каким-либо путем интенсивности всех других элементов, кроме рассматриваемого.

Допустим, что

$$J = A P_u \quad (4,1)$$

Тогда, взяв отношение ионизационного тока (2,6) к интенсивности (4,1) и учитывая значение пересчетного коэффициента, например для счетчика МС, получим

$$\frac{I_{Rn}}{J} = 2,3 \frac{\alpha_{Rn}}{\eta} \rho \frac{\text{эман. час}}{\text{мкр}} \quad (4,2)$$

Аналогично, пользуясь выражением (2,8), находим отношение ионизационного тока торона к интенсивности гамма-излучения тория

-8-

$$\frac{i_{Tn}}{J} = 4,2 \frac{\alpha_{Tn}}{\eta} \rho \frac{\text{эман.час}}{\text{мкр}} \quad (4,3)$$

Формулы (4,2) и (4,3) справедливы при следующих условиях: а) отбор проб почвенного воздуха и гамма-измерения производятся в одной и той же точке на одинаковой глубине большей диффузионной длины радона; б) радиоактивные элементы распределены равномерно. При неравномерном распределении необходимо пользоваться средним значением тока и интенсивности для ряда точек.

Используя выражения (4,2) или (4,3) можно произвести оценку относительного коэффициента эманирования. При известной пористости определяется и сам коэффициент эманирования в естественном залегании пород.

Оценка относительного коэффициента эманирования позволяет уточнить классификацию эманационных аномалий. Можно, например, выделить три типа радоновых аномалий и указать соответствующие, типичные для разрушенных пород области значения относительного коэффициента эманирования: 1) аномалии эманирования, обусловленные значительной величиной коэффициента эманирования. Эти аномалии могут иметь место при небольших, даже кларковых, содержаниях радиоактивных элементов; 2) аномалии газовых, радоновых ореолов; 3) аномалии содержания, вызванные повышенной концентрацией исходных радиоактивных элементов в точке измерений.

Аналогично классифицируются тороновые аномалии. Однако для них по причине малой диффузионной длины исключены газовые ореолы.

Типичные аномалии эманирования не сопровождаются заметным повышением гамма-поля. Практически для аномалий эманирования при измерениях в дезинтегрированных породах $\frac{\alpha_{Rn}}{\eta} > 1$. Считая объемный вес дезинтегрированных пород порядка 2 г/см^3 и несколько усиливая неравенство, по (4,2) находим характерные значения отношения концентрации радона к интенсивности гамма-поля

$$\frac{i_{Rn}}{J} > 5 \frac{\text{эман.час}}{\text{мкр}}$$

Для газовых, радоновых ореолов $\alpha_{Rn} = 100\%$. Поэтому при часто встречающейся пористости рыхлых образований порядка 20%

$$\frac{\alpha_{Rn}}{\eta} > 5 \text{ и } \frac{i_{Rn}}{J} > 20 \frac{\text{эман.час}}{\text{мкр}}$$

-9-

В газовом ореоле интенсивность гамма-поля аномально мала по сравнению с концентрацией радона. Причина этого ясна. Как и всегда здесь измеряется фактическая концентрация радона в поровом пространстве. Источниками же добавочного гамма-излучения являются только продукты распада радона, оседающие на стенках пор. Сами зерна породы дают нормальную активность, входящую в натуральный фон. Поэтому гамма-излучатели разубожены породой с нормальной активностью.

Аномалии содержания связаны с повышением гамма-интенсивности и для них $\frac{\alpha_{Rn}}{2} < 1$. Причем в некоторых случаях, например в зонах первичной минерализации, это отношение может быть очень мало.

Классификация тороновых аномалий производится тем же путем. Однако по причине малой диффузионной длины торона аномалии газового ореола вне оруденения отсутствуют.

Изложенная выше классификация эманационных аномалий по параметру эманирования, конечно, весьма схематична. В природе часто наблюдаются значительные осложнения, вызванные двойной радоно-тороновой природой эманационных полей и наложением аномалий различных типов. В то же время накопленный опыт показывает, что при рациональном выборе методики и правильном анализе материала оценка относительных коэффициентов эманирования пород в естественном залегании производится вполне уверенно. Причем получаемые значения обладают статистической устойчивостью и могут быть использованы при детальном картировании. Ниже будут рассмотрены два практических случая определения коэффициентов эманирования в сложных геолого-геофизических условиях.

§ 5. Практические примеры определения относительного коэффициента эманирования и оценки типа эманационных аномалий

1. Графитизированные гнейсы

Типичные радоновые аномалии эманирования связаны с графитизированными сланцами и гнейсами, распространенными среди пород Иль-

-10-

менского комплекса [1,2]. В табл. 2 приведены усредненные значения ионизационных токов и интенсивности гамма-поля для графито-углисто-кремнистых гнейсов и вмещающих пород.

Таблица 2

Название породы	Ионизационные токи, в эманах		Гамма-интенсивность, в мкр/час
	i_{Rn}	i_{Th}	
1. Биотитовые гранито-гнейсы	6,5	30	32
2. Графито-углисто-кремнистые гнейсы	11,6	21	33,5
3. Слюдистые сланцы	20	12	29

Гамма-интенсивность пород близка и имеет нормальное значение, что не допускает пренебрежения каким-либо из слагаемых в (3,1). Остаточный фон, измеренный над водоемом, составлял 5 мкр/час. Для оценки роли других слагаемых необходимо привлечение некоторых общих данных о породах Ильменского комплекса. Для гранито-гнейсов и сланцев отношение $\frac{P_{Th}}{P_u} \approx 5$. Содержание калия порядка 2,5%. Этих дополнительных данных достаточно для определения гамма-интенсивности отдельных компонент и оценки относительных коэффициентов эманирования по результатам полевых измерений. Объемный вес дезинтегрированных пород был равен примерно 2 г/см³. Исходные расчетные цифры и значения относительных коэффициентов эманирования содержатся в табл. 3.

Таблица 3.

Название породы	Гамма-интенсивность, в мкр/час		$\frac{\alpha_{Rn}}{\eta}$	$\frac{\alpha_{Th}}{\eta}$
	u	Th		
1. Биотитовые гранито-гнейсы	6	13	0,24	0,24
2. Графито-углисто-кремнистые гнейсы	7,5	13	3,4	~0,2

-II-

Аномально большая величина коэффициента эманирования графитизированных гнейсов подтверждается определением эманирования порочковых проб, которое дало $\alpha_{Rn} = 80\%$.

Изучение графито-гнейсов, содержащих чешуйчатый графит, показало, что с ними также связаны интенсивные радоновые аномалии эманирования.

2. Дезинтегрированные породы экзоконтактной зоны гранитной интрузии

Породы участка представлены нормальными крупнозернистыми гранитами, которые сменяются гранито-гнейсами, контактирующими в свою очередь с кварцево-слюдистыми сланцами. В зоне контакта гранито-гнейсы дезинтегрированы до глубины 10-20 м. Ниже залегают плотные гранито-гнейсы с нормальной активностью.

В разрушенных гранито-гнейсах наблюдаются аномально высокие значения концентрации радона при относительно умеренных значениях гамма-интенсивности (счетчик МС).

Средние значения ионизационных токов и гамма-интенсивности по двум профилям наблюдений П-1, П-2 и двум шурфам Ш-1, Ш-2 (глубина 4 и 4,5 м) представлены в табл. 4. Шурфы пройдены в точках максимума аномалий на профилях и измерения производились по мере проходки выработок.

Таблица 4

	Ионизационные токи, в эманах		Гамма-интенсивность, в мкр/час
	i_{Rn}	i_{Tn}	
П-1	412	84	98
Ш-1	2062	92	269
П-2	540	94	117
Ш-2	897	80	161

Как следует из табл. 4, концентрация торона по линиям наблюдений колеблется в пределах точности определений. С большой сте-

-12-

пению вероятности это является следствием однородного распределения одних и тех же ториевых минералов в пределах дезинтегрированной зоны. Следовательно, доля тория в суммарной гамма-интенсивности также примерно постоянна. Это предположение позволяет применить следующий метод расчета. Вычитая из средней концентрации радона и интенсивности по III-I соответствующие значения по II-I, найдем избыточную концентрацию и приходящуюся на нее гамма-интенсивность. Пользуясь этим отношением, можно найти всю гамма-интенсивность ряда радия. Для выделения ториевой компоненты, как и выше, введем поправки на остаточный фон и излучение калия. В данном случае эти поправки малы. Аналогично обрабатываются наблюдения по II-2 и III-2. Найденные компоненты интенсивности и значения относительных коэффициентов эманирования представлены в табл. 5.

Таблица 5

	Гамма интенсивность, в мкр/час		$\frac{\alpha_{Rn}}{\eta}$	$\frac{\alpha_{Tn}}{\eta}$
	U	Th		
II-I	43	42	2,1	0,24
III-I	214	42	2,1	0,26
II-2	67	37	1,8	0,30
III-2	111	37	1,8	0,35

Совпадение коэффициентов эманирования по радону для профиля наблюдений и соответствующей выработки определяется методом расчета. Существенна устойчивость значений для двух групп наблюдений. Более того, незначительный относительный коэффициент эманирования по торону практически такой же, что и для гранито-гнейсов Ильменского комплекса. Это указывает на сходство вещественных, минеральных носителей ториевой активности.

Относительный коэффициент эманирования по родону аномально велик. В данном случае аномалия эманирования сочетается с относительной слабой аномалией содержания.

В порошковых пробах под ультрафиолетовыми лунами было обна-

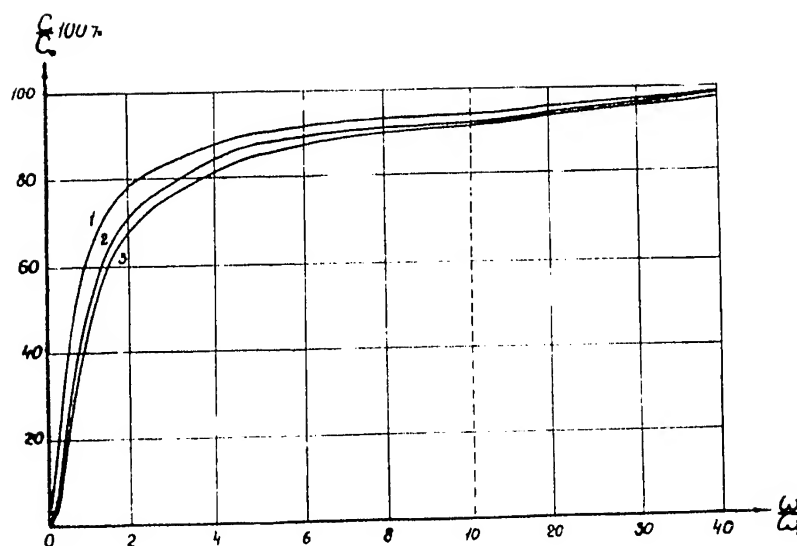
-13-

ружено интенсивное желто-зеленое свечение отенита. Коэффициент эмансирования отобранных активных зерен составлял $\sim 10\%$. У менее активной нелюминесцирующей части сухой пробы эмансирование было значительно большим и превышало 30% . В совокупности с определением эмансирования пород в естественном залегании это указывает на наличие мелко-дисперсных, коллоидальных форм нахождения значительной части радио-активных элементов ряда урана-радия.

Аномалии радиоактивности, подобные рассмотренной, встречаются довольно часто и, по-видимому, представляют своеобразные ореолы гранитных интрузий в зоне экзоконтактов.

Л и т е р а т у р а

1. Булашевич Ю.П., Разведка и охрана недр, 1957, № 2.
Z. angew. Geol., 1957, 7, 314
2. Булашевич Ю.П., Z. angew. Geol., 1957, 7, 314
3. Мелков Г.В., Пухальский Л.Ч., Поиски месторождения урана, Госгеол-техиздат, М., 1957
4. Баранов В.И., Радиометрия, М., Изд-во АН СССР, 1953.
5. Шашкин В.Л., Атомная энергия, 1957, № 1
6. Воскобойников Г.М., Тр. Горно-геологического ин-та УФАИ СССР, Геофиз. сб., 1957, № 2
7. Карташов Н.П., Изв. вост. фил. АН СССР, 1957, № 4-5



Зависимость концентрации эманации в ионизационной камере от объемной скорости отбора проб парового воздуха. Кривые построены для различных отношений объема подводящей системы к объему камеры. Соответственно нумерации кривых это отношение равно 0; 0,5 и 1,0.